

УДК 669.146-156.33:539.563

**М. Ю. Панченко^{1*}, Е. Г. Астафурова¹, Г. Г. Майер¹, С. В. Астафуров¹,
В. А. Москвина¹, Е. В. Мельников¹, К. А. Реунова¹, А. С. Михно²**

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск

**panchenko.marina4@gmail.com,*

Научный руководитель — доц., д-р физ.-мат. наук Е. Г. Астафурова

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНОЙ ДОЛИ Δ -ФЕРРИТА НА ВОДОРОДНОЕ ОХРУПЧИВАНИЕ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Было исследовано влияние объемной доли δ -феррита и плотности межфазных (аустенит/ δ -феррит) и межзеренных границ (аустенит/аустенит) на механические свойства и механизмы разрушения высокоазотистой аустенитной стали до и после электролитического наводороживания. Увеличение плотности межфазных и межзеренных границ и уменьшение доли феррита приводит к повышению устойчивости стали и водородному охрупчиванию.

Ключевые слова: высокоазотистая сталь, водородное охрупчивание, δ -феррит, межфазные границы, межзеренные границы, механические свойства

**M. Yu. Panchenko, E. G. Astafurova, G. G. Maier, S. V. Astafurov, V. A. Moskvina,
E. V. Melnikov, K. A. Reunova, A. S. Mikhno**

THE EFFECT OF VOLUME FRACTION OF Δ -FERRITE ON HYDROGEN EMBRITTLMENT IN HIGH-NITROGEN AUSTENITIC STEEL

The effect of volume fraction of δ -ferrite and the density of interphase (austenite/ δ -ferrite) and grain (austenite/austenite) boundaries on the mechanical properties and fracture mechanisms of a high-nitrogen austenitic steel before and after hydrogen electrolytic charging for 100 h was investigated. An increase in the density of interphase and grain boundaries and decrease in fraction of δ -ferrite increase the resistance of steel against hydrogen embrittlement.

Key words: high-nitrogen steel, hydrogen embrittlement, δ -ferrite, interphase boundaries, grain boundaries, mechanical properties

© Панченко М. Ю., Астафурова Е. Г., Майер Г. Г., Астафуров С. В., Москвина В. А., Мельников Е. В., Реунова К. А., Михно А. С., 2020

Для исследования была выбрана высокоазотистая аустенитная сталь: Fe–23Cr–17Mn–0,1C–0,6N (мас. %) (ВАС). Различные величины объемной доли δ -феррита, размеров зерен аустенита и δ -феррита в образцах ВАС были получены в ходе термической обработки горячекатаных стальных заготовок в интервале температур $T_{об} = 1050...1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ с продолжительностью выдержки 30 минут и последующей закалкой в воду. После шлифовки и полировки, стальные образцы были подвергнуты электролитическому наводороживанию в водном растворе поваренной соли (3 % раствор с добавлением аммония роданистого, продолжительность 100 часов, плотность тока — 100 мА/см^2) и растяжению при комнатной температуре с начальной скоростью деформации $5 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$.

Структура ВАС после термообработки при всех $T_{об}$, представляла собой аустенит с небольшим содержанием δ -феррита (объемная доля $f = 18...23\%$). Было установлено, что с увеличением температуры $T_{об}$ объемная доля δ -феррита незначительно увеличивается, при этом возрастает средний размер зерна аустенита и δ -феррита, следовательно, уменьшается плотность межфазных и межзеренных границ. Предел текучести стали $\sigma_{0,2}$ зависит от температуры $T_{об}$: максимальное значение $\sigma_{0,2} = 630\text{ МПа}$ соответствует обработке при $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, а с увеличением $T_{об}$ происходит плавное снижение $\sigma_{0,2}$. Удлинение до разрушения образцов изменяется слабо с ростом $T_{об}$ практически не происходит.

Насыщение водородом приводит к повышению предела текучести (твердорастворное упрочнение атомами водорода) и уменьшению пластичности образцов ВАС независимо от их исходной термообработки. После отжига при температуре $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с максимальной плотностью межфазных и межзеренных границ) образцы демонстрируют минимальный коэффициент водородного охрупчивания $k_H = 10\%$. При увеличении $T_{об}$ величина k_H возрастает: до 15% при $T_{об} = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, до 23% при $T_{об} = 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и до 32% при $T_{об} = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. После насыщения водородом происходит изменение микромеханизма разрушения ВАС от вязкого ямочного излома к хрупкому в поверхностном наводороженном слое. Наибольшая толщина наводороженного слоя $45 \pm 5\text{ мкм}$ характерна для образцов после обработки при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, и разрушение в них происходит транскристаллитно по механизму квазискола. Толщина наводороженного слоя уменьшается при увеличении плотности межфазных и межзеренных границ и уменьшении доли феррита и после обработки при температуре $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $22 \pm 5\text{ мкм}$. При этом

на поверхности разрушения в наводороженном слое наблюдается образование преимущественно интеркристаллитных трещин.

Таким образом, уменьшение размера зерна феррита и аустенита и объемной доли δ -феррита в ВАС способствует уменьшению диффузии атомов водорода вглубь образцов и вызывает снижение эффектов водородного охрупчивания. Уменьшение плотности межфазных и межзеренных границ в образцах ВАС приводит к изменению механизма разрушения наводороженного слоя — способствует увеличению вклада интеркристаллитного излома.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского
научного фонда (грант № 17–19–01197).*